

9种观赏草苗期耐盐性评价及NaCl胁迫对芨芨草生长的影响

袁小环¹, 孙 男², 滕文军¹, 杨学军¹, 武菊英^{1,①}

(1. 北京草业与环境研究发展中心, 北京 100097; 2. 北京林业大学, 北京 100083)

摘要: 采用砂培法,对质量浓度0(对照)、5、10、15、20和30 g·L⁻¹ NaCl胁迫条件下长芒草(*Stipa bungeana* Trin.)、丽色画眉草(*Eragrostis spectabilis* (Pursh) Steud.)、狼尾草(*Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng.)、‘小兔子’狼尾草(*P. alopecuroides* ‘Little Bunny’)、拂子茅(*Calamagrostis brachytricha* Steud.)、野古草[*Arundinella hirta* (Thunb.) Tanaka]、远东芨芨草[*Achnatherum extremiorientale* (Hara) Keng]、芨芨草[*A. splendens* (Trin.) Nevski]和须芒草(*Andropogon scoparius* Michx.)幼苗的存活率和死亡率进行了分析,并根据植株死亡率、植株存活或出现死亡的NaCl质量浓度和5 g·L⁻¹ NaCl胁迫条件下6个生长指标的聚类分析结果对9种观赏草的耐盐性进行了评价;在此基础上,对NaCl胁迫条件下耐盐性最强的芨芨草生长指标的变化进行了详细分析。结果表明:采用植株死亡率、植株存活或出现死亡的NaCl质量浓度以及生长指标的聚类分析结果都可对供试9种观赏草的耐盐性进行评价,评价结果有一定的差异但表现出相似的趋势;综合3种方法的评价结果,9种观赏草的耐盐性可被分为4个等级:芨芨草最强;狼尾草、‘小兔子’狼尾草、丽色画眉草和长芒草较强;须芒草中等;拂子茅、远东芨芨草和野古草最弱。在NaCl胁迫条件下,芨芨草栽培基质及其渗出液的电导率随NaCl质量浓度的提高逐渐增大;而芨芨草的不同生长指标对NaCl胁迫的响应有差异,其中,NaCl胁迫对芨芨草根长的影响较小;随NaCl质量浓度的提高,芨芨草的苗高、分蘖数、根数、茎叶干质量和根干质量以及叶绿素相对含量均逐渐降低,而根冠比逐渐增大。在NaCl质量浓度高于10 g·L⁻¹条件下,芨芨草幼苗可以存活;而在NaCl质量浓度不高于10 g·L⁻¹条件下,芨芨草幼苗可以维持生长。实验期间的极端高温及极端低温以及栽培基质电导率的变化均对芨芨草幼苗的生长和耐盐性有一定的影响。

关键词: 观赏草;耐盐性;聚类分析;芨芨草;生长指标

中图分类号: Q948.113; Q945.78 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2011)03-0069-07

Assessment of salt tolerance of nine species of ornamental grass at seedling stage and effect of NaCl stress on growth of *Achnatherum splendens* YUAN Xiao-huan¹, SUN Nan², TENG Wen-jun¹, YANG Xue-jun¹, WU Ju-ying^{1,①} (1. Beijing Research and Development Center for Grass and Environment, Beijing 100097, China; 2. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2011, 20(3): 69-75

Abstract: Survival and death percentages of seedlings of *Stipa bungeana* Trin., *Eragrostis spectabilis* (Pursh) Steud., *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng., *P. alopecuroides* ‘Little Bunny’, *Calamagrostis brachytricha* Steud., *Arundinella hirta* (Thunb.) Tanaka, *Achnatherum extremiorientale* (Hara) Keng, *A. splendens* (Trin.) Nevski and *Andropogon scoparius* Michx. were analyzed by sand culture method under 0 (control), 5, 10, 15, 20 and 30 g·L⁻¹ NaCl stress, and their salt tolerances were assessed according to plant death percentage, NaCl concentrations inducing survival or beginning dead of plant and cluster analysis result of six growth indexes under 5 g·L⁻¹ NaCl stress. On the basis, change of growth indexes of *A. splendens* with the strongest salt tolerance under NaCl stress was analyzed minutely. The results show that according to plant death percentage, NaCl concentrations inducing survival or beginning dead of plant and cluster analysis result of growth indexes, salt tolerance of the nine grasses tested can be

收稿日期: 2010-10-12

基金项目: 北京市科技计划项目(Z09050600630901); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJXC201101003)

作者简介: 袁小环(1975—),女,安徽砀山人,博士,助理研究员,主要从事观赏草抗逆生理研究。

①通信作者 E-mail: wujuying1@263.net

assessed. Although their assessment results are not completely same, but appear similar trend. Combining assessment results based on above three methods, salt tolerance of the nine grasses are classified into four grades: *Achnatherum splendens* is the strongest; *Pennisetum alopecuroides*, *P. alopecuroides* 'Little Bunny', *Eragrostis spectabilis* and *Stipa bungeana* are stronger; *Andropogon scoparius* is middle; *Calamagrostis brachytricha*, *Achnatherum extremiorientale* and *Arundinella hirta* are the weakest. Under NaCl stress, electrical conductivity in cultivating substrate and its leachate for *A. splendens* increases gradually with rising of NaCl concentration. And response of different growth indexes of *A. splendens* to NaCl stress is vary, in which, effect of NaCl stress on root length is smaller. With rising of NaCl concentration, height, tiller number, root number, dry weight of stem and leaf, dry weight of root and chlorophyll relative content of *A. splendens* all decrease gradually, while ratio of root-shoot increases gradually. Under NaCl concentration higher than $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, *A. splendens* seedling can survive, while maintain growth under NaCl concentration lower than $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. Extremely high and extremely low temperatures and change of electrical conductivity of cultivating substrate have a certain effect on growth and salt tolerance of *A. splendens* seedling.

Key words: ornamental grass; salt tolerance; cluster analysis; *Achnatherum splendens* (Trin.) Nevski; growth index

土壤盐渍化是影响农业生产和生态环境的严重问题,盐碱地的植物种植、土壤改良与生态恢复一直是全球关注的热点问题。联合国粮农组织 (FAO) 2005 年的调查结果表明:全球约有 $8 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 的土地受到盐渍化的影响^[1]。

中国盐碱地面积约为 $3.6 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 相当于中国现有耕地面积的四分之一^[2]。中国有盐生植物 430 种,分属于 66 科 198 属,其中禾本科 (Poaceae) 所包含的盐生植物数量仅次于藜科 (Chenopodiaceae)^[3]。观赏草是近年来发展迅速的一类园林植物,以禾本科植物为主,因其种类繁多、抗逆性强,常被作为低维护型植物应用于环境绿化和美化^[4-5],因此,观赏草兼有禾本科植物的资源基础和绿化植物的种苗保障,可应用于盐碱地的绿化和改良。对观赏草进行耐盐性评价,从而筛选出耐盐性强的草种 (品种) 具有重要的实际应用意义。

迄今为止,植物耐盐性分析尚没有统一的评价指标和研究方法。近年来,国内学者多以出现盐害症状的盐浓度^[6]或者通过对某一盐浓度下的多项指标进行聚类分析^[7-8]来评价植物的耐盐性,对同一评价方法不同学者持有不同的观点。非盐生植物特别是农作物对盐胁迫的生长响应通常用阈值盐度模型 (bent-stick model, threshold-slope model) 来描述,只有当盐度增加到阈值时植物的产量才会受到影响,超过阈值后随盐度增加植物的产量呈线性下降^[9-11]。然而, Kopittke 等对 4 种非盐生的多年生植物进行了研究,却没有发现明显的盐度阈值,它们的产量与盐度

之间也不存在线性关系^[12]; Munns 等也得出相似的实验结果,认为耐盐性很强的高冰草 [*Agropyron elongatum* (Host) Nevski] 的生物量也随着盐浓度的增加迅速降低,并没有所谓的盐度阈值^[13]。因此,有必要采取多种方法对植物的耐盐性进行分析和评价,从而得出更合理的结论。

作者选择 9 种常用的观赏草开展苗期耐盐性实验,根据 NaCl 胁迫条件下植株死亡率、植株存活或出现死亡的 NaCl 质量浓度以及 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫条件下 6 项生长指标的聚类分析结果开展耐盐性评价,并比较了各评价方法的优劣,最终筛选出耐盐性最强的芨芨草 [*Achnatherum splendens* (Trin.) Nevski] 进行进一步的生长指标及环境因子分析,以期对盐渍土地上观赏草的栽培应用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的 9 种观赏草包括:长芒草 (*Stipa bungeana* Trin.)、丽色画眉草 [*Eragrostis spectabilis* (Pursh) Steud.]、狼尾草 [*Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng.]、'小兔子'狼尾草 (*P. alopecuroides* 'Little Bunny')、拂子茅 (*Calamagrostis brachytricha* Steud.)、野古草 [*Arundinella hirta* (Thunb.) Tanaka]、远东芨芨草 [*Achnatherum extremiorientale* (Hara) Keng]、芨芨草和须芒草 (*Andropogon scoparius* Michx.), 各草种的种子均于 2009 年采自北京草业与环境研究发展中

心小汤山草圃。

1.2 方法

1.2.1 播种、栽培和管理方法 2009年12月25日至28日在日光温室室内采用基质块穴盘播种9种观赏草的种子,采用地热线加热方法使温度恒定在25℃。2010年2月3日至4日将生长较一致的幼苗移栽入塑料盆(上口直径12 cm、底部直径7.6 cm、高10 cm,容积580 mL)中,每盆3棵幼苗。盆内装入500 mL直径0.2~2.0 mm的河砂作为基质,盆底垫1层300目白色尼龙网以便排水。栽培过程中随时拔除杂草,目测干旱时浇灌 Hoagland 营养液以补充水分和养分,整个实验过程不再另外施肥。

1.2.2 NaCl胁迫处理方法 在 Hoagland 营养液中分别加入固体 NaCl,使营养液中 NaCl 的最终质量浓度为0(对照)、5、10、15、20和30 g·L⁻¹。使用上述处理液对9种观赏草幼苗进行胁迫处理。每种植物每处理各8盆(视为8个重复),每种植物共48盆,9种植物共计432盆。为减少NaCl的冲击效应,在胁迫处理起始期采取逐步胁迫法,即2月20日至3月18日期间逐步增加 Hoagland 营养液中 NaCl 的质量浓度,直到营养液中 NaCl 质量浓度达到各处理所需的最终质量浓度;此后至实验结束(4月底),目测基质的干旱程度,按照实验设计在需要灌溉时用含相应质量浓度 NaCl 的 Hoagland 营养液进行浇灌,每次每盆浇灌量80 mL(从盆底流出约10 mL)。

1.2.3 生长指标的测定方法 在实验区的中心位置放置 ZDR-F20 型温湿度记录仪(杭州泽大仪器有限公司生产)对空气温度和相对湿度进行24 h监测,记录时间为2月4日至4月21日,每隔5 min记录1次。在胁迫处理的第15天(4月1日)、第30天(4月16日)和第35天(4月21日)调查每种观赏草各处理组植株的死亡数。4月19日至4月23日调查各处理组每种观赏草的苗高、分蘖数、根数及根长;将茎叶和根分开并洗净,分别装入牛皮纸袋内,置于105℃烘箱中杀青30 min,然后于80℃恒温干燥至恒质量(以30 min内干质量没有变化为准),称取茎叶和根的干质量,并计算根冠比。在4月20日,选取每一植株顶端的第1片完全展开叶片,应用 SPAD-502 型便携式叶绿素计(日本柯尼卡公司生产)测量叶绿素相对含量(SPAD值)。在4月26日,将每一处理的8盆基质平均分为2组,其中一组参照文献[14]的方法采用1:5的土水体积比测定基质电导率;

另一组每盆浇灌80 mL去离子水,接收从盆底流出的约10 mL渗出力,测定其电导率。

1.3 数据分析

根据 NaCl 胁迫结束时植株的死亡率(death percentage, DP)将9种观赏草的耐盐性分为4级:强(DP≤25%);较强(25% < DP ≤ 50%);中等(50% < DP ≤ 75%);弱(75% < DP ≤ 100%)。

实验结束时,以5 g·L⁻¹ NaCl 胁迫条件下9种观赏草植株的株高增长量、分蘖数增长量、根数、根长、茎叶干质量和根干质量等6个指标的数值与对照组相应指标数值的比值作为变量,采用类间平均法对9种观赏草进行层次聚类分析^[15]。

采用 Duncan's 法对实验数据的差异显著性(P=0.05)进行分析。

2 结果和分析

2.1 9种观赏草的耐盐性评价

2.1.1 根据植株死亡率评价耐盐性 实验过程中,对照组9种观赏草的植株均能够正常生长,没有表现出明显的受害症状,且没有植株死亡。而在5~30 g·L⁻¹ NaCl 胁迫条件下,不同观赏草植株出现死亡的时间和数量有一定差异,具体结果见表1。由表1可见,除芨芨草没有死亡外,另外8种观赏草死亡植株数量均随 NaCl 胁迫处理时间的延长而逐渐增加;从不同胁迫处理时间植株死亡数和实验结束时植株的死亡率来看,野古草的耐盐能力最弱,芨芨草的耐盐能力最强。根据植株死亡率对9种观赏草的耐盐性进行分级,大致可分为4个等级:野古草、拂子茅、远东芨芨草和须芒草的耐盐性最弱,死亡率均在80.0%以上;长芒草和丽色画眉草的耐盐性中等,死亡率分别为72.5%和52.5%;狼尾草和‘小兔子’狼尾草的耐盐性较强,死亡率分别为42.5%和40.0%;芨芨草的耐盐性最强,死亡率为0.0%。

2.1.2 根据植株存活和出现死亡的 NaCl 质量浓度评价耐盐性 实验结束时9种观赏草的存活率统计结果见表2。根据植株存活的 NaCl 质量浓度可将9种观赏草的耐盐性分为4个等级:芨芨草、狼尾草和‘小兔子’狼尾草的耐盐性最强,在30 g·L⁻¹ NaCl 胁迫条件下仍有植株存活;丽色画眉草和长芒草的耐盐性较强,植株存活的最终 NaCl 质量浓度达到10~15 g·L⁻¹;须芒草、拂子茅和远东芨芨草的耐盐性中

等,植株存活的最终 NaCl 质量浓度为 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$;野古草的耐盐性最弱,经 NaCl 胁迫处理后植株全部死亡。

根据出现死亡植株的 NaCl 质量浓度(表 2)也可将 9 种观赏草的耐盐性划分为 4 个等级:耐盐性最强的种类仅有芨芨草 1 种,各处理组植株均没有出现死亡现象;耐盐性较强的种类为丽色画眉草,出现死亡

植株的 NaCl 质量浓度为 $15 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$;耐盐性中等的种类有长芒草、须芒草和狼尾草,出现死亡植株的 NaCl 质量浓度为 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$;耐盐性最弱的种类有‘小兔子’狼尾草、拂子茅、远东芨芨草和野古草,出现死亡植株的 NaCl 质量浓度为 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

表 1 NaCl 胁迫条件下 9 种观赏草的死亡情况及耐盐性

Table 1 Death status and salt tolerance of nine species of ornamental grass under NaCl stress

供试植物 Plant tested	不同处理时间植株死亡数 Death number at different treatment times			平均死亡率/% ¹⁾ Average of death percentage ¹⁾	耐盐性 Salt tolerance
	15 d	30 d	35 d		
	野古草 <i>Arundinella hirta</i>	32	39		
拂子茅 <i>Calamagrostis brachytricha</i>	4	33	36	90.0	弱 Weak
远东芨芨草 <i>Achnatherum extremiorientale</i>	0	29	36	90.0	弱 Weak
须芒草 <i>Andropogon scoparius</i>	1	24	32	80.0	弱 Weak
长芒草 <i>Stipa bungeana</i>	6	25	29	72.5	中等 Middle
丽色画眉草 <i>Eragrostis spectabilis</i>	0	11	21	52.5	中等 Middle
狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	0	9	17	42.5	较强 Stronger
‘小兔子’狼尾草 <i>P. alopecuroides</i> ‘Little Bunny’	0	6	16	40.0	较强 Stronger
芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i>	0	0	0	0.0	最强 Strongest

¹⁾ 为 5 个处理组 (5、10、15、20 和 30 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl) 植株死亡率的平均值 Representing the average of death percentage of five treatment groups with 5, 10, 15, 20 and 30 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl.

表 2 不同质量浓度 NaCl 胁迫条件下 9 种观赏草存活率的比较

Table 2 Comparison of survival percentage of nine species of ornamental grass under NaCl stress with different concentrations

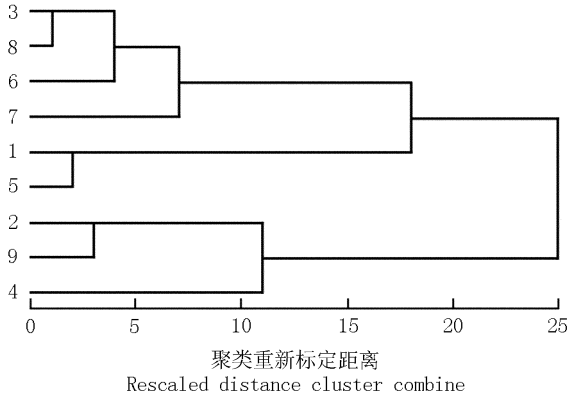
供试植物 Plant tested	不同处理组植株的存活率/% Survival percentage of different treatment groups					
	0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	5 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	10 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	15 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	20 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	30 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i>	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
丽色画眉草 <i>Eragrostis spectabilis</i>	100.0	100.0	100.0	37.5	0.0	0.0
长芒草 <i>Stipa bungeana</i>	100.0	100.0	37.5	0.0	0.0	0.0
须芒草 <i>Andropogon scoparius</i>	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	100.0	100.0	62.5	87.5	25.0	12.5
‘小兔子’狼尾草 <i>P. alopecuroides</i> ‘Little Bunny’	100.0	87.5	87.5	62.5	25.0	37.5
拂子茅 <i>Calamagrostis brachytricha</i>	100.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0
远东芨芨草 <i>Achnatherum extremiorientale</i>	100.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0
野古草 <i>Arundinella hirta</i>	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

2.1.3 根据 6 个生长指标的聚类分析结果评价耐盐性 根据 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫条件下 9 种观赏草植株的株高增长量、分蘖数增长量、根数、根长、茎叶干质量和根干质量的统计结果进行聚类分析,结果见图 1。在聚类重新标定距离 10 处可将 9 种观赏草分为 4 类:拂子茅、丽色画眉草、狼尾草和‘小兔子’狼尾草聚为一类;野古草和远东芨芨草聚为一类;长芒草和芨芨草聚为一类;须芒草单独为一类。若无其他评价方法作为参考,难以根据这一聚类结果对 9 种观赏草的耐盐性进行评价,但根据植株死亡率以及植株存活和

出现死亡的 NaCl 质量浓度得出的耐盐性评价结果进行综合分析,可将上述聚类结果划分出的 4 类观赏草的耐盐性分别对应为较强、最弱、最强和中等。

2.1.4 9 种观赏草耐盐性的综合评价 根据植株死亡率、植株存活或出现死亡的 NaCl 质量浓度以及生长指标聚类分析获得的 9 种观赏草耐盐性的评价结果虽然不完全一致,但有一定的相似之处。根据植株存活或出现死亡的 NaCl 质量浓度进行耐盐性评价,其结果较为明确和实用;而仅仅根据生长指标的聚类分析结果难以作出明确的耐盐性强弱的判断。综合

上述3种评价方法的结果,9种观赏草的耐盐性大致如下:芨芨草最强;狼尾草、‘小兔子’狼尾草、丽色画眉草和长芒草较强;须芒草中等;拂子茅、远东芨芨草和野古草最弱。



1. 野古草 *Arundinella hirta* (Thunb.) Tanaka; 2. 长芒草 *Stipa bungeana* Trin.; 3. 拂子茅 *Calamagrostis brachytricha* Steud.; 4. 须芒草 *Andropogon scoparius* Michx.; 5. 远东芨芨草 *Achnatherum extremiorientale* (Hara) Keng; 6. 狼尾草 *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng.; 7. ‘小兔子’狼尾草 *P. alopecuroides* ‘Little Bunny’; 8. 丽色画眉草 *Eragrostis spectabilis* (Pursh) Steud.; 9. 芨芨草 *Achnatherum splendens* (Trin.) Nevski.

图1 5 g·L⁻¹ NaCl胁迫条件下基于6个生长指标的9种观赏草的层次聚类分析图

Fig. 1 Dendrogram of hierarchical cluster analysis of nine species of ornamental grass based on six growth indexes under 5 g·L⁻¹ NaCl stress

2.2 NaCl胁迫条件下空气温度和相对湿度及芨芨草生长指标的变化分析

环境条件对植物生长有较大影响,因此,作者以耐盐性最强的芨芨草为研究对象,对空气温度、相对湿度以及不同质量浓度NaCl胁迫条件下基质及其渗出液的电导率进行了初步分析,并对NaCl胁迫条件下芨芨草的生长指标进行了比较。

2.2.1 空气温度、相对湿度及基质和其渗出液电导率的变化 实验期间,实验区内的空气温度和相对湿度分别为8.1℃~43.1℃和26.8%~97.1%,空气温度和湿度的平均值分别为18.7℃和88.1%。实验期间的空气相对湿度有益于供试植物的生长;供试的9种观赏草生长的适宜温度为15℃~35℃,极端低温(8.1℃)和极端高温(43.1℃)可能对植物生长造成不利影响。

实验结束时,基质和其渗出液的电导率见表3。由表3可见:基质和其渗出液的电导率均随NaCl质量浓度的提高而显著增加($P=0.05$),说明虽然每次进行浇灌处理时都有部分NaCl随渗出液流失,但基

质中仍然留存了一定的NaCl,随NaCl的积累基质的电导率逐渐升高。

表3 不同质量浓度NaCl胁迫条件下芨芨草栽培基质和其渗出液电导率变化¹⁾

Table 3 Change of electrical conductivity in cultivating substrate and its leachate for *Achnatherum splendens* (Trin.) Nevski under NaCl stress with different concentrations¹⁾

NaCl 质量浓度/g·L ⁻¹ NaCl concentration	电导率/ds·m ⁻¹ Electrical conductivity	
	基质 Substrate	渗出液 Leachate
0 (CK)	0.09f	4.61f
5	0.38e	15.46e
10	0.49d	19.08d
15	0.61c	22.00c
20	0.79b	23.03b
30	1.08a	24.20a

¹⁾ 同列中不同的字母表示经 t 检验差异显著 ($P=0.05$) Different letters in the same column indicate the significant difference by t test ($P=0.05$).

2.2.2 NaCl胁迫条件下芨芨草生长指标分析 不同质量浓度NaCl胁迫对芨芨草植株生长的影响见表4。由表4可见:NaCl胁迫对芨芨草根长的影响较小;随NaCl质量浓度的提高,芨芨草的苗高、分蘖数、根数、茎叶和根的干质量及叶绿素相对含量均逐渐降低。5 g·L⁻¹NaCl胁迫对芨芨草的苗高、分蘖数、根数、茎叶和根的干质量就有显著抑制作用($P=0.05$);NaCl质量浓度达到15 g·L⁻¹,芨芨草的生长受到严重抑制,苗高、分蘖数、茎叶和根的干质量与胁迫开始时(3月18日)相比几乎没有增长(数据略),除根数外,前述的生长指标均显著低于10 g·L⁻¹NaCl胁迫处理组;NaCl质量浓度达到15~30 g·L⁻¹,各生长指标均显著降低但各处理组间差异不显著,而叶绿素相对含量则随NaCl质量浓度的提高显著降低且各处理组间差异显著。因此,虽然在30 g·L⁻¹NaCl胁迫条件下芨芨草幼苗能存活,但只有NaCl质量浓度在10 g·L⁻¹以下芨芨草幼苗才可以维持生长。

由表4还可见:芨芨草植株不同部位的生长对NaCl胁迫的响应速率不同,茎叶对NaCl胁迫的敏感性高于根,随着NaCl质量浓度提高芨芨草的根冠比逐渐增大。Munns等^[16]的研究结果表明:NaCl胁迫条件下,叶片的生长首先受到抑制,而在长期的高盐危害条件下根的生长才受到影响,因此,盐胁迫可以导致植物根冠比提高。本研究中,NaCl质量浓度达到20 g·L⁻¹时芨芨草的根冠比显著升高,这与绳仁立等^[17]和陈静波等^[18]的相关研究结果一致。

表4 不同质量浓度 NaCl 胁迫条件下芨芨草幼苗生长指标变化¹⁾Table 4 Change of growth indexes of *Achnatherum splendens* (Trin.) Nevski seedling under NaCl stress with different concentrations¹⁾

NaCl 质量浓度/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl concentration	苗高/cm Height	分蘖数 Tiller number	根长/cm Root length	根数 Root number	干质量/g Dry weight		根冠比 Ratio of root-shoot	叶绿素相对含量 Relative content of chlorophyll
					茎叶 Stem and leaf	根 Root		
0 (CK)	22.3a	17.1a	15.5ab	45.5a	763a	663a	0.87c	29.1a
5	13.6b	14.4b	14.8b	26.3b	388b	274b	0.71c	27.4a
10	11.2c	10.9c	14.3b	14.1c	297c	258b	0.87c	25.1a
15	8.7d	5.3d	16.0ab	12.4cd	72d	57c	0.79c	19.9b
20	9.0d	5.1d	17.0a	10.5d	49d	50c	1.02b	15.0c
30	9.6cd	4.4d	17.0a	11.8cd	59d	77c	1.31a	6.1d

¹⁾ 同列中不同的字母表示经 t 检验差异显著 ($P=0.05$) Different letters in the same column indicate the significant difference by t test ($P=0.05$).

SPAD-502 型便携式叶绿素计是测量叶绿素含量的有效工具之一,获得的叶绿素相对含量能够反映叶绿素含量的变化趋势^[19-20]。本研究中,芨芨草叶片的叶绿素相对含量随着 NaCl 质量浓度的提高而显著降低(表4),说明高质量浓度 NaCl 胁迫对芨芨草叶片的叶绿素合成有抑制作用,导致叶绿素含量显著减少,这与倪细炉等^[21]的研究结果相似。

3 讨论和结论

作物的耐盐性通常是根际土壤盐浓度而确定的。植物的耐盐性存在显著差异,对盐敏感的作物在根际土壤的盐浓度达到 $15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (电导率 $1.5 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$) 时产量即下降,而耐盐性强的作物根际土壤的盐浓度阈值可达 $60 \sim 100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (电导率 $6.0 \sim 10.0 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$)^[9]。芨芨草、沟叶结缕草 [*Zoysia matrella* (L.) Merr.] 和海滨雀稗 [*Paspalum vaginatum* Sw.] 均为在中国自然分布的盐生植物^[3]。刘一明等以盐溶液处理 36 d 植物生长量下降 50% 的盐浓度作为植物的耐盐阈值,测得百慕大 [*Cynodon dactylon* (L.) Pers. \times *C. transadlensis* 'Tifdwarf']、假俭草 [*Eremochloa ophiuroides* (Munro) Hack.]、沟叶结缕草和海滨雀稗的耐盐阈值分别为 232.4 、 222.4 、 374.8 和 $474.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[22],换算成质量浓度分别为 13.6 、 13.0 、 21.9 和 $27.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。若以茎叶干质量下降 50% 作为耐盐阈值的判定标准,根据本研究结果得出的芨芨草耐盐阈值为 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,远低于前述的海滨雀稗等草坪草的耐盐阈值。然而,本研究所用的芨芨草等观赏草为实生幼苗,而刘一明等选用成熟草坪为实验材料,实验对象的种类、大小和长势均具有较大的差异,研究结果不具有可比性。因

此,对不同植物的耐盐性评价应该在同一生境条件及生长条件下进行。

除了受到盐胁迫外,植物的生长还会受到恶劣环境条件的限制,环境条件与植物耐盐性之间也具有一定的关系。如番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 的耐盐性随太阳辐射的减少而显著下降^[23],但随根际土壤温度的升高 ($18 \text{ }^\circ\text{C} \sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$) 而增加^[24]。在本实验期间,培养温室冬季的低光照以及极端高温和极端低温都可能影响芨芨草对 NaCl 的耐性。

研究表明:根据植株死亡率、植株存活和出现死亡的 NaCl 质量浓度以及基于生长指标的聚类分析结果都可以对观赏草的耐盐性进行评价,虽然评价结果不完全相同,但均表现出相似的趋势。在没有其他评价方法作为参考或者在对植物的耐盐性没有初步了解的情况下,仅采用生长指标进行聚类分析难以对植物耐盐性作出准确的判断,因此,应尽可能采用多种方法互相参照的综合评价方法。根据本研究中 3 种方法的评价结果,供试的 9 种观赏草的耐盐性排序大致为:芨芨草最强;狼尾草、‘小兔子’狼尾草、丽色画眉草和长芒草较强;须芒草中等;拂子茅、远东芨芨草和野古草最弱。虽然芨芨草的耐盐性最强,但在高于 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (基质电导率 $0.49 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$,基质渗出液电导率 $19.08 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$) NaCl 的胁迫条件下,芨芨草幼苗可以维持存活,但生长受到明显抑制;只有在 NaCl 质量浓度不高于 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的胁迫条件下,芨芨草幼苗才可以维持生长。

参考文献:

- [1] Munns R. Genes and salt tolerance: bringing them together[J]. *New Phytologist*, 2005, 167(3): 645-663.
- [2] 赵可夫, 范海. 盐生植物及其对盐渍生境的适应生理[M]. 北京: 科学出版社, 2005.

- [3] Zhao K F, Fan H, Ungar I A. Survey of halophyte species in China [J]. *Plant Science*, 2002, 163(3): 491-498.
- [4] 武菊英, 滕文军, 袁小环. 适宜北京地区的观赏草评价与应用[J]. *中国园林*, 2008, 24(12): 21-24.
- [5] Wolfe J, III, Zajicek J M. Are ornamental grasses acceptable alternatives for low maintenance landscape? [J]. *Journal of Environmental Horticulture*, 1998, 16(1): 8-11.
- [6] 李亚, 耿蕾, 刘建秀. 中国结缕草属植物抗盐性评价[J]. *草地学报*, 2004, 12(1): 8-16.
- [7] 许能祥, 顾洪如, 冯柏青, 等. 16个引进多花黑麦草品种苗期耐盐评价[J]. *草地学报*, 2010, 18(3): 223-227.
- [8] 孟林, 尚春艳, 毛培春, 等. 偃麦草属植物种质材料苗期耐盐性综合评价[J]. *草业学报*, 2009, 18(4): 67-74.
- [9] Maas E V, Hoffman G J. Crop salt tolerance-current assessment[J]. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 1977, 103(2): 115-134.
- [10] Van Genuchten M T, Hoffman G J. Analysis of crop salt tolerance data[M]//Shainberg I, Shalhevet J. *Soil Salinity under Irrigation: Process and Management Ecological Studies*. New York: Springer-Verlag, 1984: 258-271.
- [11] Grant R F. Salinity, water use and yield of maize: testing of the mathematical model *ecosys* [J]. *Plant and Soil*, 1995, 172(2): 309-332.
- [12] Kopitke P M, Kopitke R A, Menzies N W. Measurement and interpretation of salinity tolerance in four perennial grasses [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2009, 32(1): 30-43.
- [13] Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance[J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2008, 59: 651-681.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 87.
- [15] 宇传华. SPSS与统计分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [16] Munns R, Termaat A. Whole-plant responses to salinity [J]. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1986, 13(1): 143-160.
- [17] 绳仁立, 佟海英, 柴翠, 等. NaCl胁迫对甜菊不同品种幼苗生长的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2010, 19(2): 60-67.
- [18] 陈静波, 阎君, 张婷婷, 等. 四种暖季型草坪草对长期盐胁迫的生长反应[J]. *草业学报*, 2008, 17(5): 30-36.
- [19] Hawkins T S, Gardiner E S, Comer G S. Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings for endangered plant species research [J]. *Journal for Nature Conservation*, 2009, 17(2): 123-127.
- [20] Richardson A D, Duigan S P, Berlyn G P. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content [J]. *New Phytologist*, 2002, 153(1): 185-194.
- [21] 倪细炉, 岳延峰, 沈效东, 等. 盐胁迫对芨芨草生理响应的比较研究[J]. *北方园艺*, 2010(3): 18-21.
- [22] 刘一明, 程凤枝, 王齐, 等. 四种暖季型草坪植物的盐胁迫反应及其耐盐阈值[J]. *草业学报*, 2009, 18(3): 192-199.
- [23] Dalton F N, Maggio A, Piccinni G. Assessing the effect of solar radiation on plant salt tolerance as defined by the static and dynamic indices [J]. *Plant and Soil*, 2001, 229(2): 189-195.
- [24] Dalton F N, Maggio A, Piccinni G. Effect of root temperature on plant response functions for tomato: comparison of static and dynamic salinity stress indices [J]. *Plant and Soil*, 1997, 192(2): 307-319.

(责任编辑: 佟金凤)

《林产化学与工业》2012年征订启事

《林产化学与工业》(双月刊)由中国林业科学研究院林产化学工业研究所、中国林学会林产化学化工分会共同主办,为全国林产化工行业的学术类期刊,为“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、“RCCSE中国核心学术期刊(A)”。报道范围是可再生的木质和非木质生物质资源的化学加工与利用,包括生物质能源、生物质化学品、生物质新材料、生物质天然活性成分和制浆造纸等,主要包括松脂化学、生物质能源化学、生物质炭材料、生物基功能高分子材料、胶黏剂化学、森林植物资源提取物化学利用、环境保护工程、木材制浆造纸为主的林纸一体化和林产化学工程设备研究设计等方面的最新研究成果。

本刊为双月刊,双月月末出版,大16开。国内外公开发行,国内邮发代号28-59,国外发行代号Q5941;国内每期定价15.00元,全年定价90.00元;国外每期定价15.00美元,全年定价90.00美元。编辑部地址:江苏省南京市锁金五村16号林化所内(邮编210042);电话及传真:(025)85482493;E-mail: cifp@vip.163.com;网址: http://www.cifp.ac.cn。